

УДК 617.3

В.В. Цапенко, аспірант, к.т.н., доц. Терещенко М.Ф.

КПІ ім. Ігоря Сікорського

БАРОПОДОМЕТРИЧНИЙ МЕТОД ДОСЛІДЖЕННЯ БІОМЕХАНІКИ СТОПИ

Анотація Проведений аналіз бароподометричного методу дослідження параметрів стопи, який дозволяє об'єктивізувати дослідження біомеханічних параметрів з врахуванням їх статичної та динамічної складових. Положення тіла має чітко визначені вимірювальні параметри в усій повноті, з урахуванням того, що постуральні проблеми пов'язані з нестійким підтриманням рівноваги тіла - виникає необхідність визначення, виміру та моделювання точних шляхів руху в інструментальних дослідженнях та встановлення ефективних методів лікування.

Ключові слова: біомеханіка, стопа, бароподометрія.

ВСТУП

Сучасний етап розвитку приладобудування актуалізує прикладний аспект аналізу локомоцій людини. Діагностика постави людини не була б повною без вимірювання і оцінки стану опорно-ресорних властивостей стопи. Для об'єктивної оцінки впливу розподілу навантаження по стопі на локомоції необхідні клінічний аналіз руху та постурологічне обстеження (дослідження положення прийнятого тілом) [1]. Стопа є основним органом відчуття і руху людського тіла, її важливість більш очевидна для підтримки, як двоногого положення, так і одноногого під час ходи. Завдяки розташованим на підшовній поверхні шкіри екстерорецепторам, збирає інформацію про коливання маси тіла і направляє його в центральну нервову систему (ЦНС), яка буде координувати постуральну стабільність. Стопа є першою, найбільш навантаженою ланкою опорно-рухового апарату, яка здійснює контакт з опорою, перерозподіляє силу реакції на розташовані вище сегменти опорно-рухового апарату (ОРА) та виконує важливу ресорну функцію, забезпечує стійкість нижньої кінцівки та зчеплення з опорною поверхнею [2].

Переважає більшість інструментальних систем є фізичними, а не лінійними, що ускладнює пошук рішень на елементарній основі і іноді робить його неможливим. І саме в цьому твердженні розвивається, в даний час інструментальний аналіз. Для лінійних систем, мінімальна зміна початкового стану - викликає відповідні зміни, в його кінцевому стані. Інакше, для нелінійних систем, невеликі відмінності в початкових умовах приводять до непередбачуваних відмінностей в кінцевому стані. Наприклад, людина, яка проходить статичний аналіз, невідомо наскільки і яким чином змінить свою рухову поведінку на бароподометричній платформі під час проходження тесту [3].

МЕТА РОБОТИ

Провести оцінку сучасних методів дослідження біомеханічних параметрів стопи та визначити новизну бароподометрії та перспективні шляхи їх розвитку і оціночні параметри.

МАТЕРІАЛИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Відомий метод бароподометрії, який дозволяє об'єктивізувати дослідження біомеханічних параметрів стопи з врахуванням статичної та динамічної складових. Сучасні методи дослідження біомеханіки стопи виникли на основі вимірювання тиску підшовної поверхні стопи, або точніше - на основі використання електронної бароподометричної системи. Новизна цих методів полягає у розгляді сил, що діють на стопу, як в статиці, так і в динаміці. Це дозволило проводити більш поглиблене дослідження ходьби і виявити певну частоту однакових або подібних між собою зображень тиску, які не повністю відповідають відомій метатарзальній формулі [4]. Ці дані демонструють наявність надлишкового центрального навантаження, при статичній опорі на II, III і IV плеснові голівки, в динаміці - велика частина навантаження припадає на центральні плеснові голівки і майже ніколи не переноситься на I або V.

Бароподометрія статичного положення визначає розподіл зон навантаження, окреслює периметр опорного полігону, фіксує центри положення стопи та проекцію центру тяжіння тіла і його зміщення, розраховує відсоткові співвідношення опорної поверхні та сили тиску, у тому числі перевантаження кінцівки або ротацію тазу. Статичний аналіз розглядається як геометрична модель (рис. 1а), яка пов'язує базові параметри пацієнта, корелюючись як з інформацією, отриманою з морфології підшви (подоконтурометрія), так і з динамічно виявленими відбитками стоп (рис. 1б).

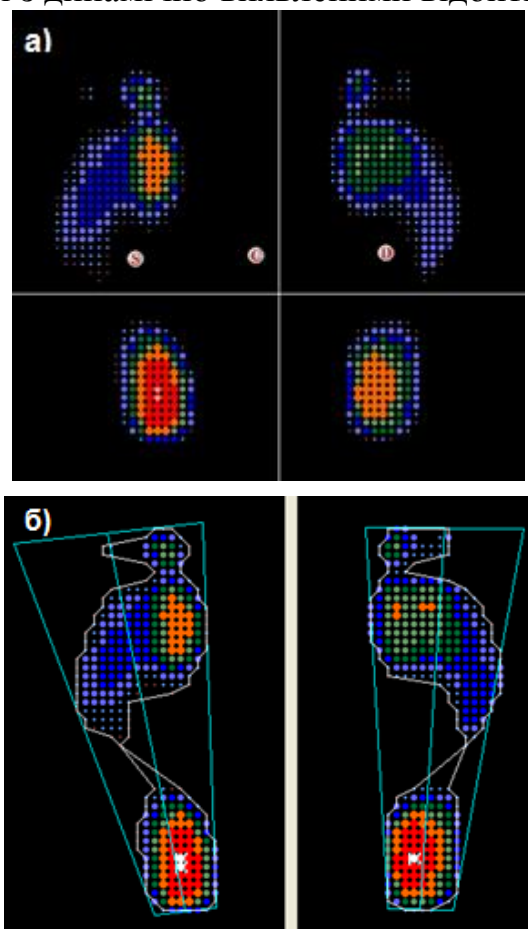


Рисунок 1. Статичний аналіз (а) і відповідна барицентрична геометрія (б)

Кількісні значення величин відбитків тиску, виявлені після дослідження і представлені в розділі статичного аналізу, дозволяють помітити будь-яку можливу асиметрію або відхилення від фізіологічного стану. Найбільш важливі з них поділяються на "значення навантаження" (корелюються в основному з інформацією щодо тиску) і "значення зміщення" (корелюються в основному з просторовою інформацією) - вони взаємопов'язані.

Бароподометрія в динаміці показує як розподіляється тиск при перекаці кожної стопи. Точка приземлення, контакту та поштовху в нормі мають чітку послідовність, швидкість та силу. Траєкторія руху переднього відділу стопи вказує на тазостегновий, а гомілкостопний та підтаранний визначаються на середині відбитку стопи. За графічним відображенням руху можна чітко відслідкувати стабільність суглобів, латеральні чи медіальні відхилення руху. Різниця руху, наприклад, колінного суглобу і напрям руху стопи може спричинити розбалансованість, або травму суглобів. Фіксуються цикли руху з часовими характеристиками моноопори та подвійної опори. Визначаються подовження стопи при динамічній опорі, її розширення в передньому відділі під час руху. Три відбитки аналізують повний кроковий цикл, два - це напівкрок. Наявність повного крокового циклу завжди є більш інформативним від одиночних відбитків (рис. 2).

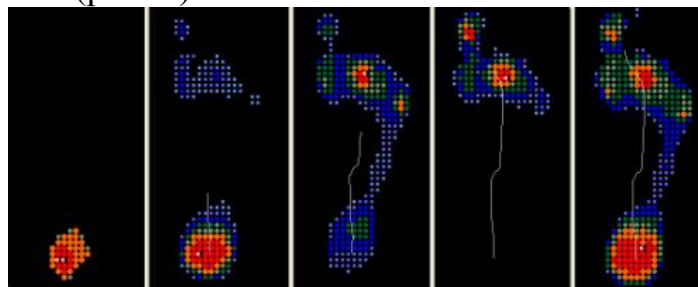


Рис. 2. Окремі фази перекошування і повне зображення стопи (останнє праворуч)

При ходьбі, також, може спостерігатися опорний середньостопний багатокутник (рис. 3), тобто мить, при якому організм переносить навантаження з однієї кінцівки на іншу під час подвійної опори. Цей параметр має вирішальне значення в кінематичній реконструкції порушень стійкості, які можуть бути викликані неправильним контактом, оскільки він дозволяє виявити взаємодію можливих порушень стійкості.

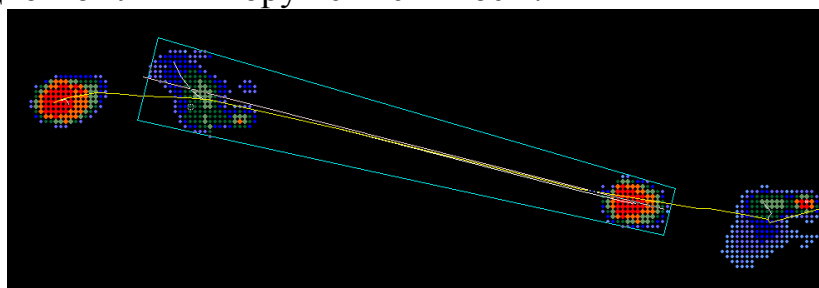


Рис. 3. Окремі фази перекошування і повне зображення стопи (останнє праворуч)

Можливий розвиток зміни схеми кроку в результаті довгострокового, звичного перебування в неправильних позах. З цього випливає втрата м'язового контролю, що може бути основною причиною набуття патологічної ходи. З усього цього видно, що тест на динамічну моторну координацію (ДМК)

дозволяє виявити, крім структурних патологій також і нестійкість, яка виникає внаслідок рефлексів, що відповідають за біль, вплив зорово-вестибулярного апарату і порушення ЦНС [5-6].

При вивченні параметрів ДМК слід виділити будь-які зміни в порівнянні з "базовими параметрами" (параметри статичного аналізу), що дозволяє поглиблено вивчити структурні патології, нестійкість, що виникла в зв'язку з візуально-вестибулярними розладами або розладами ЦНС. Значення середнього тиску, при проведенні випробувань динамічної координації, які виявляють ефективну функцію стопи, повинні змінюватися щодо "базових параметрів". При різних даних про тиск стопи, слід вважати, що присутня патологія.

ВИСНОВКИ

Таким чином, положення тіла має чітко визначені вимірювальні параметри в усій повноті, з урахуванням того, що постуральні проблеми пов'язані з нестійким підтриманням рівноваги тіла, і як наслідок, нестійким положенням на ногах. З цього випливає необхідність визначення, виміру та моделювання точних шляхів руху в інструментальних дослідженнях та встановлення ефективних методів лікування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Tsapenko V. Analysis of Dynamic Load on Human Foot / V. Tsapenko, M. Tereshchenko, G. Tymchik, S. Matvienko and V. Shevchenko // 2020 IEEE 40th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO), Kyiv, Ukraine, 2020, pp. 400-404. DOI: 10.1109/ELNANO50318.2020.9088788
- [2] Цапенко В.В. Моделі оцінювання біомеханічних параметрів нижніх кінцівок у дітей / В.В. Цапенко, М.Ф. Терещенко, Г.С. Тимчик. // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – 2019. – №1. – С. 67–75. DOI: 10.20535/kpi-sn.2019.1.158812
- [3] Цапенко В.В. Метод дослідження біомеханічних параметрів стопи людини / В.В. Цапенко, М.Ф. Терещенко. // Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки. – 2018. – №5. – С. 51–59.
- [4] Tsapenko V. Method of study of spatial parameters of the human foot / V. Tsapenko, M. Tereshchenko // XI Int. Sci. Tech. Conf. Integrated Intellectual Robotechnical Complexes (IIRTC-2018), Kyiv, Ukraine, May 22—23, 2018, pp. 157—159.
- [5] Цапенко В. В. Анализ влияния разнорысокости нижних конечностей на биомеханические параметры походки/ В. В. Цапенко, Н. Ф. Терещенко // Вестник Киевского политехнического института. Серия: Приборостроение. - 2019. - Вып. 57 (1). - С. 102-107. DOI: [https://doi.org/10.20535/1970.57\(1\).2019.172034](https://doi.org/10.20535/1970.57(1).2019.172034)
- [6] Н. Ромакина Использование методов биомеханики в оценке состояния и коррекции патологии опорно-двигательной системы (обзор) / Н. Ромакина, А. Федонников, С. Киреев // Саратовский научно-медицинский журнал, №3, с. 310-316, 2015.

Наук. керівник – к.т.н., доцент Терещенко М.Ф